

露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

## INCORPORATION BY REFERENCE

The disclosure of the following priority application is incorporated herein by reference:

Japanese Patent Application NO.11-299331 filed October 21,1999.

## BACKGROUND OF THE INVENTION

### 1. Field of The Invention

本発明は、例えば半導体集積回路、撮像素子（ＣＣＤ等）、液晶ディスプレイ、プラズマディスプレイ、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程で使用される露光方法及び露光装置に関する。

### 2. Description of The Related Art

半導体集積回路、又は液晶ディスプレイ等の電子デバイスの微細パターンを形成するためのリソグラフィ工程で、マスクとしてのレチクルの原版パターンを被露光基板としてのウエハ（又はガラスプレート等）上に転写する際にステッパー等の投影露光装置が使用される。この投影露光装置においては、電子デバイスの一層の微細化に対応して解像度を高めるために、露光波長がより短波長側にシフトして来ている。現在、露光波長はＫｒＦエキシマレーザの２４８ｎｍが主流となっているが、より短波長の波長２００ｎｍ程度以下の真空紫外域の光も使用されつつある。即ち、ＡｒＦエキシマレーザの１９３ｎｍは実用化段階に入りつつあり、更に短波長のＦ２レーザ（波長１５７ｎｍ）や、Ａｒ２レーザ（波長１２６ｎｍ）等を露光光として使用する投影露光装置の開発も行われている。

また、投影光学系の開口数（ＮＡ）を大きくすることによっても解

像度を向上できるため、投影光学系のより一層の大NA化も行われている。この場合、投影光学系の露光視野（露光フィールド）が小さい方が大NA化に有利であるため、投影光学系自体の視野を小さくする一方で、露光中に、レチクルとウエハとを相対走査して実質的に大視野を確保するステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の露光装置も実用化されている。

特に、走査露光型の露光装置では、レチクル及びウエハを載置する各ステージを高精度に駆動する必要があるため、これらのステージの支持方式としては、エアーフローで浮上させて支持することにより、移動時の摩擦を低減したエアークベアリング方式が採用されている。

最近では露光光として真空紫外光が使用されようとしているが、真空紫外光に対して実用的な透過率を備え、レンズやレチクルとして使用可能な光学材料は、合成石英、フッ素等をドープした石英、及び蛍石（ $\text{CaF}_2$ ）、フッ化マグネシウム（ $\text{MgF}_2$ ）、フッ化リチウム（ $\text{LiF}$ ）等の結晶等に限定される。また、真空紫外光は光路上の酸素、水蒸気、及び炭化水素ガス等の気体（以下、「吸収性ガス」と称する。）による吸収も極めて大きいと共に、真空紫外光と反応して光学部材の表面に曇り物質を生ずる気化した有機物等も「吸収性ガス」とみなすことができる。従って、露光光の光路からそれらの吸収性ガスを排除するために、窒素や希ガス等の真空紫外光に対して吸収の少ない気体（以下、「透過性ガス」と称する。）でその光路上の気体を置換する必要がある。例えば、酸素の濃度に関しては、光路中の平均濃度を、ppmオーダー程度に抑える必要がある。吸収性ガスの残留濃度の規格が、上記のような規格を満たさない場合には、ウエハ上での露光エネルギーが著しく低下して、露光時間を長くする必要があるため、スループットが低下することになる。

ところで、露光装置はウエハを順次交換して、それらのウエハ上に微細パターンを転写していくため、露光光路が含まれる空間内と外部のウエハが搬送される空間との間で頻繁にウエハの出し入れ（交換）

を行う必要がある。そして、そのウエハの交換に際しては、酸素、水蒸気等の吸収性ガスが搬入されるウエハと共に流入したり、気化し易い有機物等がウエハに吸着されて搬入されて来る。また、ウエハ上に塗布されたフォトリソレジスト自体も、炭化水素ガス等（脱ガス）を放出するので、ウエハ近傍の雰囲気については、光路中の吸収性ガスの濃度を所定の値以下に保つことは、容易なことではない。

また、真空紫外光を露光光とする露光装置でも、ウエハステージ及びレチクルステージの支持方式として、従来のエアーパーリング方式を採用した場合、それらのステージを浮上させるためには、大量の気体が必要である。この結果として、それらのステージが設置されるウエハの近傍及びレチクルの近傍の雰囲気中に、浮上用の気体が流入する恐れがある。その浮上用の気体が通常の空気のように吸収性ガスであると、その雰囲気の透過率が低下してしまう。そこで、浮上用の気体としても高純度の透過性ガスを使用することが望ましい。しかしながら、比較的大量に使用する浮上用の気体中の吸収性ガスを常時所定の濃度以下に抑制するには、ランニングコストが増大するという問題がある。

更に、露光装置のウエハステージやレチクルステージは、通常レーザー干渉計によって高精度に位置計測が行われている。レーザー干渉計は移動鏡と固定鏡とにそれぞれレーザービームを照射して、その固定鏡を基準として移動鏡（可動ステージ）の位置を計測する。この場合にも、露光光の光路上に透過性ガスを供給する際に、そのレーザー干渉計の計測精度を向上するためには、その透過性ガスの供給に伴うレーザービームの光路上の気体の揺らぎの影響をできるだけ小さくすることが望ましい。

#### SUMMARY OF THE INVENTION

本発明は斯かる点に鑑み、露光光として真空紫外光を使用する場合でも、光路上での透過率の低下を抑制して、高い露光強度の得られる

露光方法及び装置を提供することを第 1 の目的とする。

更に本発明は、レチクルやウエハを移動するステージの支持方式としてエア－ベアリング方式を採用した場合に、露光光として真空紫外光を使用しても、運転コストをあまり増大させることなく、光路上での透過率の低下を抑制できる露光方法及び装置を提供することを第 2 の目的とする。

また、本発明は、レチクルやウエハを移動するステージの位置をレーザ干渉計によって計測する場合に、露光光として真空紫外光を使用しても、そのレーザ干渉計の計測精度を低下させることなく露光光に対する透過率の低下を抑制できる露光方法及び装置を提供することを第 3 の目的とする。

また、本発明は、露光光として真空紫外光を使用したような場合でも、レチクル又はウエハの位置を正確に検出できる露光方法及び装置を提供することを第 4 の目的とする。

また、本発明はそのような露光方法を用いて高いスループットでデバイスを量産できるデバイス製造方法を提供することをも目的とする。

本発明による第 1 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その投影系とその第 2 物体との間の空間をその投影系側の第 1 の空間とその第 2 物体側の第 2 の空間とに分けて、この第 1 及び第 2 の空間の境界部の少なくともその露光ビームが通過する領域に開口部を設け、その第 1 の空間側にその露光ビームを透過する第 1 の気体を供給し、その第 1 の気体は、その第 2 の空間側の第 2 の気体に比べてその露光ビームを吸収する不純物の混入率が低いものである。

斯かる本発明によれば、その不純物の種類は、その露光ビームの波長に応じて変化するものである。そして、その第 2 物体の近傍の空間は、その第 2 物体の交換時の不純物の混入や、その第 2 物体自体に付着している不純物等によって透過率が低下し易い傾向がある。これに

対して本発明では、その第 2 物体の近傍の空間を第 1 の空間と第 2 の空間とに分けて、その第 1 の空間には高透過率の気体を供給しているため、その第 2 物体の近傍の空間で、露光ビームに対する透過率が低い空間の割合が少なくなり、全体としての透過率の低下を抑制できる。従って、その第 2 物体上での露光ビームの強度が高く維持されて、露光工程のスループットが向上する。

この場合、その第 1 の空間において、その第 1 の気体を一方向に送風することが望ましい。この結果、その第 1 の空間での透過率の低下が抑制されると共に、その第 2 物体上の空間の気体の状態が安定し、屈折率分布が光軸に垂直な面内で一様になるため、結像特性も安定となる。更に、その第 2 物体から発生する脱ガス等の不純物も、その第 1 の気体によって効率的に排気される。

次に、本発明の第 2 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その第 1 物体又はその第 2 物体を保持してベース部材上を移動するステージをその露光ビームを透過する第 3 の気体が供給される空間内に配置し、そのステージをそのベース部材上に第 4 の気体の噴射とこの第 4 の気体の吸引とによって差動排気型で浮上させると共に、その第 4 の気体のその露光ビームに対する吸収率の許容度をその第 3 の気体よりも高く設定するものである。

斯かる本発明によれば、そのステージは差動排気型で浮上しているため、その浮上用の第 4 の気体の外部への漏れ量は少ない。従って、その第 4 の気体の露光ビームに対する吸収率の許容度を高く設定して、運転コストを低くしても、その周囲の露光ビームの光路での透過率の低下を抑制できる。

また、本発明による第 3 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その第 1 物体又はその第 2 物体と共に移動するステージと所定の参照部材とにそれぞれ計測用ビーム及び参照ビームを照射して、そ

の参照部材に対するその第 1 物体又はその第 2 物体の位置を計測し、その計測用ビーム及びその参照ビームの光路を互いにその露光ビームを吸収する不純物の混入率が同程度の気体の雰囲気にするものである。

斯かる本発明によれば、そのステージの近傍のその露光ビームの光路上にその露光ビームを透過する気体を供給するに際して、計測用ビーム及び参照ビームの光路に供給される気体の屈折率の揺らぎが同程度になるため、計測精度が高く維持される。

また、本発明による第 4 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その投影系とその第 2 物体との間の空間をその投影系側の第 1 の空間とその第 2 物体側の第 2 の空間とに分けて、該第 1 及び第 2 の空間の境界部のうち、少なくともその露光ビームが通過する領域に開口部を設け、その第 1 の空間にその露光ビームを透過する気体を送風し、その露光ビームを照射することにより発生するその第 2 物体からの物質を、その第 1 の空間で送風されるその気体を介して、その露光ビームの光路中から排出するものである。

斯かる本発明によれば、露光時にその第 2 物体から発生する脱ガス等の不純物がその第 1 の気体によって効率的に排出されるため、露光ビームの透過率が高く維持される。しかも、その脱ガス物資の化学反応によって生じる曇り物質の、その投影系の先玉（最も第 2 物体に近いレンズ）への付着も防止されるため、露光ビームの透過率は常時高く維持される。

また、本発明による第 5 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その投影系とその第 2 物体との間の空間をその投影系側の第 1 の空間とその第 2 物体側の第 2 の空間とに分けて、この第 1 及び第 2 の空間の境界部のうち、その第 1 物体又はその第 2 物体の位置を検出するための検出ビームが通過する領域に開口を設け、その第 1 の空間

にその露光ビームが透過する気体を供給するものである。

斯かる本発明によれば、その投影系側の第 1 の空間にその露光ビームを透過する気体を効率的に供給できると共に、その開口を通してその検出ビームをその第 2 物体に照射できる。従って、その第 2 物体の位置を正確に検出できる。

また、本発明による第 6 の露光方法は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、その投影系とその第 2 物体との間の空間をその投影系側の第 1 の空間とその第 2 物体側の第 2 の空間とに分け、その第 1 の空間の不純物の混入率を、その第 2 の空間の不純物の混入率より低くしたものである。斯かる本発明によれば、第 1 の露光方法と同様に運転コストを低く抑えて、露光ビームの透過率を高く維持できる。

次に、本発明による第 1 の露光装置は、第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光装置において、その投影系とその第 2 物体との間に配置されて、その露光ビームを通過させるための開口が形成された開口板と、この開口板とその投影系との間の第 1 の空間にその露光ビームを透過する第 1 の気体を供給する第 1 の気体供給機構と、その開口板とその第 2 物体との間の第 2 の空間に供給されてその露光ビームを透過すると共に、その第 1 の気体に比べてその露光ビームを吸収する不純物の混入率が異なる第 2 の気体の環境を制御する環境制御機構とを有するものである。

また、本発明による第２の露光装置は、第１物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第２物体を露光する露光装置において、その第１物体又はその第２物体を保持してベース部材上を移動するステージと、このステージを囲む空間を実質的に密閉するチャンバと、このチャンバ内にその露光ビームを透過する第３の気体を供給する気体供給装置と、そのステージをそのベース部材上に第４の気体の噴射とこの第４の気体の吸引とによって差動排気型で浮上させるエアーパーリング装置とを有し、その第４の気体のその露光ビームに

対する吸収率の許容度をその第3の気体よりも高く設定するものである。

また、本発明による第3の露光装置は、第1物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第2物体を露光する露光装置において、その第1物体又はその第2物体と共に移動するステージと、その投影系に対して静止している参照部材と、そのステージ及びその参照部材にそれぞれ計測用ビーム及び参照ビームを照射して、その参照部材に対するその第1物体又はその第2物体の位置を計測する干渉計と、その計測用ビーム及びその参照ビームの光路に互いにその露光ビームを吸収する不純物の混入率が同程度の気体を供給する気体供給装置とを有するものである。

また、本発明による第4の露光装置は、第1物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第2物体を露光する露光装置において、その投影系とその第2物体との間に配置されて、その第1物体又はその第2物体の位置を検出するための検出ビームを通過させるための開口が形成された開口板と、その開口板とその投影系との間の第1の空間にその露光ビームを透過する第1の気体を供給する第1の気体供給機構とを有するものである。

斯かる各露光装置によって本発明の各露光方法が実施できる。

なお、本発明における第1、第2、第3の気体としては、窒素ガス若しくは希ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノン、若しくはラドン）、又は窒素ガス若しくは希ガスの混合ガスが使用できる。更に第1、第2、第3の気体としては、互いに同じ気体を使用してもよく、又は互いに異なる気体を使用してもよい。一方、本発明の第4の気体は、ステージをベース部材上に浮上させるための浮上用の気体であるため、その第1、第2、第3の気体とは異なり、乾燥空気のような露光ビームに対する透過率は低いが低コストの気体を使用できる。

また、本発明における開口板は、開口として貫通孔を形成した構成、



又はその貫通孔に露光ビームが透過するガラス基板を設けた構成等の何れでもよい。更に、その開口板を、複数枚の板を組み合わせて構成してもよい。この場合は、複数枚の板の間の部分が開口に相当する。

次に、本発明によるデバイス製造方法は、本発明の露光方法を用いてデバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むものである。

そして、上述した本発明の第1、第4及び第6の露光方法によれば、例えば投影系側の第1の空間に局所的に露光ビームを透過する気体を供給することによって、例えば第2物体から発生する不純物を含む脱ガスを露光ビームの光路から効率よく除去することができる。従って、その露光ビームに対する透過率を高くして、露光強度を高くできると共に、その気体の使用量は少なくて済み運転コストが低くできる。更に、投影系の長寿命化にも有効である。

また、第1及び第2の空間の境界部の開口の形状を例えば細長いスリット状にすることで、斜入射方式の焦点検出装置との両立が容易になり、高精度な焦点合わせとの両立も容易になる。

また、本発明の第2の露光方法によれば、例えば走査露光型の露光装置で使用するエアーベアリング機構を、差動排気型とすることで、エアーパッドに供給すべき浮上用の気体中の不純物ガス（露光ビームを吸収する気体）の規格を大幅に緩めても、露光ビームの透過率が高く維持できる。更に、ガス純化に要する運転コストの引き下げが可能となる。

また、本発明の第3の露光方法によれば、位置計測のための干渉計の計測側光路と参照側光路との双方に、不純物を実質的に同量含む気体を送風することで、干渉計の光路上の不純物による計測誤差を低減することができる。

また、本発明の第5の露光方法によれば、露光強度を高く維持できると共に、開口板の開口を通して検出ビームを照射できるため、第2物体の位置を正確に検出でき、第1物体のパターンの像を高解像度で



する。

図 1 は本例の投影露光装置を示し、この図 1 において、露光光源 1 として発振波長 157 nm のフッ素レーザ（F2 レーザ）が使用されている。但し、露光光源 1 としては、波長 146 nm のクリプトンダイマーレーザ（Kr2 レーザ）又は波長 126 nm のアルゴンダイマレーザ（Ar2 レーザ）等の他の真空紫外域の光を発生する光源を使用できる。露光光源 1 は、波長 157 nm のレーザ光よりなる露光光 I L を発する。この露光光 I L は、ビームマッチングユニット（BMU）2 及び照明光学系 101 を介してマスクとしてのレチクル 12 を照明し、レチクル 12 上の照明領域内のパターンの像が、投影系としての投影光学系 PL によって倍率  $\beta$ （ $\beta$  は例えば  $1/4$ ， $1/5$ ， $1/6$  等）で露光対象の基板としてのウエハ（wafer）17a 上に投影される。半導体デバイス用のウエハ 17a 上には感光材料としてのフォトリソグが塗布されており、レチクル 12 及びウエハ 17a が本発明の第 1 物体及び第 2 物体に対応している。

本例のレチクル 12 からウエハ 17a までの光路を含む露光本体部は、例えば半導体製造工場の床 104 上に載置され、露光光源 1 は実際には例えばその床 104 の階下の機械室に設置されている。以下、投影光学系 PL の光軸 AX に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面（ほぼ水平面に合致している）内で図 1 の紙面に平行に X 軸を取り、図 1 の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。

本例の照明光学系 101 は、BMU 2 からの露光ビームとしての露光光 I L より多数の光源像を形成する不図示のオブティカル・インテグレータ（ホモジナイザー）と、不図示のリレーレンズ系と、不図示の開口絞り及び視野絞りと、光路折り曲げ用のミラー 4 と、コンデンサレンズ 5 等とを備え、照明光学系 101 は、気密性の高い箱状の照明系チャンバ 3 で覆われる。照明系チャンバ 3 の内部には、露光ビームを透過する気体に対応する上記真空紫外域の光束に対して吸収性の低い気体、即ち窒素ガス又は希ガス（ヘリウム、ネオン、アルゴン、

クリプトン、キセノン、若しくはラドン）が満たされている。また、照明系チャンバ 3 内の気体は、コンデンサレンズ 5 によって、後述のレチクル 1 2 を収納するレチクル室 6 内の気体と隔離されている。

なお、本例のように露光光源 1 としてフッ素レーザを使用する場合、フッ素レーザの 1 5 7 . 5 2 n m と 1 5 7 . 6 3 n m との 2 本の発振波長のうち、露光光路に混入しやすい不純物ガス（例えば酸素、水蒸気等）による吸収の小さい方の波長を、露光波長として選択する。これは、不純物ガスの吸収による照度低下を防止する点から有利である。また、窒素ガスは露光光 I L の波長が 1 5 0 n m 程度以下になると吸収が発生するため、露光波長が 1 5 0 n m 程度以下のときには、露光光に対して吸収性の低い気体（露光ビームを透過する気体）としては希ガスを使用することが望ましい。更に、希ガスの内でも、ヘリウムガスは熱伝導率が高く（ネオンの 3 倍程度、かつ窒素ガスの 6 倍程度）温度安定性に優れ、気圧の変化に対する屈折率の変動量が小さく（ネオンの 1 / 2 程度、かつ窒素ガスの 1 / 8 程度）、結像特性が安定であるという利点がある。そこで、例えば運転コストよりも結像特性の安定性が重視されるような用途ではヘリウムガスを使用することが望ましい。

次に、レチクル 1 2 は不図示のレチクルホルダ上に真空吸着等によって保持され、そのレチクルホルダはレチクルステージ 1 1 上に固定され、レチクルステージ 1 1 はレチクルベース 1 0 上に、X 方向に所定速度で走査可能に、かつ X 方向、Y 方向、回転方向に同期誤差を補正するように微動可能に載置されている。不図示のレチクルホルダ、レチクルステージ 1 1、及びレチクルベース 1 0 等よりレチクルステージ系 1 0 2 が構成され、レチクル 1 2 及びレチクルステージ系 1 0 2 を囲む空間 S 5 は、気密性の高い箱状のレチクル室 6 で覆われている。より具体的に、照明光学系 1 0 1 のコンデンサレンズ 5 と投影光学系 P L の最もレチクル側のレンズ系 L 1 との間の露光光 I L の光路がレチクル室 6 によって囲まれている。

レチクル室 6 内の空間 S 5 も、上記の真空紫外域の光束に対して吸収性の低いヘリウム等の気体で満たされている。即ち、レチクル室 6 内の気体はほぼ連続的に、排気口 G 5 e 及び排気管 1 0 9 - 5 を介してガス純化装置 4 5 - 5 (詳細後述) に回収され、ガス純化装置 4 5 - 5 から露光ビームを透過する高純度の気体がほぼ連続的に、給気管 1 0 8 - 5 及び給気口 G 5 i を介してレチクル室 6 内に供給される。給気口 G 5 i と排気口 G 5 e とはレチクルステージ系 1 0 2 を挟んで対向するように、かつ給気口 G 5 i よりも排気口 G 5 e の位置が低くなるように配置されている。

また、レチクルステージ 1 1 の端部に固定された移動鏡 1 3 に、レチクル室 6 の窓部 7 を介してレチクル干渉計の計測部 8 より計測用のレーザビーム 9 が照射される。そして、計測部 8 は、投影光学系 P L に対して固定された不図示の固定鏡 (参照鏡) を基準として移動鏡 1 3 (レチクルステージ 1 1) の X 座標、Y 座標、回転角 (ヨーイング量)、ピッチング量、及びローリング量を計測し、計測値をステージ制御系 1 0 6、及び装置全体の動作を統轄制御する主制御系 1 0 5 に供給している。ステージ制御系 1 0 6 は、その計測値及び主制御系 1 0 5 からの制御情報に基づいて不図示のリニアモータ等の駆動部を介してレチクルステージ 1 1 の動作を制御する。

レチクル 1 2 を透過した光束は投影光学系 P L によって集光され、ウェハ 1 7 a 上にレチクルパターンの像を形成する。本例の投影光学系 P L は、鏡筒 1 4 内にレチクル側から順にレンズ L 1, L 2, L 3 ... L F を配置して構成されており、レンズ L 1 とレンズ L F との間の露光光 I L の光路は鏡筒 1 4 によって実質的に密閉されている。そして、その鏡筒 1 4 内の各レンズ間の空間もヘリウム等の露光光 I L を透過する気体が満たされている。この気体は、常時フローしていることが望ましい。また、レンズ L 1 ~ L F の光学材料としては、蛍石 (C a F 2)、フッ化マグネシウム (M g F 2)、フッ化リチウム (L i F)、又はフッ素や水素等の物質をドーブした石英ガラス等の真空紫外光

を透過する材料が使用されている。

なお、所定の物質をドープした石英ガラスは、波長が150nm程度より短くなると透過率が低下するため、波長が150nm程度以下の真空紫外光を露光ビームとして使用する場合には、屈折部材の光学材料としては蛍石、フッ化マグネシウム、又はフッ化リチウム等が使用される。このように、真空紫外域では高透過率の光学材料の種類が限定されるため、投影光学系PLとして例えば特願平10-370143号、又は特願平11-66769号等に関示されているような反射屈折系を使用してもよい。

次に、ウェハ17aは、不図示のウェハホルダ上に真空吸着等によって保持される。そのウェハホルダはウェハステージ18a上に固定される。ウェハステージ18aは定盤よりなるウェハベース20上に、X方向に所定速度で走査可能に、かつX方向及びY方向にステップ移動可能に載置されている。ウェハステージ18aは、不図示のオートフォーカスセンサの計測値に基づいて、オートフォーカス方式でウェハ17aの表面を投影光学系PLの像面に合焦させる機能も備えている。不図示のウェハホルダ、ウェハステージ18a及びウェハベース20等からウェハステージ系103が構成される。ウェハ17a及びウェハステージ系103は、気密性の高いウェハ室24で覆われ、ウェハ室24は不図示の防振台を介して床104上に設置されている。そして、ウェハ室24内の空間も、上記の真空紫外域の光束に対して吸収性の低いヘリウム等の気体で満たされている。即ち、ウェハ室24内の気体はほぼ連続的に、排気口G2e及び排気管109-2を介してガス純化装置45-2（詳細後述）に回収され、ガス純化装置45-2から露光ビームを透過する高純度の気体がほぼ連続的に、給気管108-2及び給気口G2iを介してウェハ室24内に供給される。給気口G2iと排気口G2eとはウェハステージ系103を挟んで対向するように、かつ給気口G2iはウェハ室24の側面に、排気口G2eはウェハ室24の上面に配置されている。この給気口G

2 i 及び排気口 G 2 e からの気体の給気及び排気を制御することにより、ウエハ室 2 4 内の空間の環境が制御される。

また、ウエハステージ 1 8 a の端部に固定された移動鏡 1 9 a に、ウエハ室 2 4 の窓部 2 1 を介してウエハ干渉計の計測部 2 2 より計測用のレーザビーム 2 3 が照射され、計測部 2 2 は、投影光学系 P L に対して固定された不図示の固定鏡を基準として移動鏡 1 9 a (ウエハステージ 1 8 a) の X 座標、Y 座標、回転角 (ヨーイング量)、ピッチング量、及びローリング量を計測し、計測値をステージ制御系 1 0 6、及び主制御系 1 0 5 に供給している。ステージ制御系 1 0 6 は、その計測値及び主制御系 1 0 5 からの制御情報に基づいて不図示のリニアモータ等の駆動部を介してウエハステージ 1 8 a の動作を制御する。この際に、レチクル側及びウエハ側の干渉計の計測部 8, 2 2 は、真空紫外域の光束を吸収する気体を放出する部材 (電気回路用基板、電気配線等) を含むので、レチクル室 6 及びウエハ室 2 4 内に配置することは好ましくない。そこで、計測部 8, 2 2 は、それぞれ計測用のレーザビーム 9, 2 3 を透過するガラス基板よりなる窓部 7, 2 1 を介してレチクル室 6 及びウエハ室 2 4 の外側に配置している。

また、ウエハ室 2 4 の側面に開閉自在に開閉窓 2 5 が設けられ、開閉窓 2 5 の近傍にウエハ交換用のウエハローダ 2 6 が配置されている。

走査露光時には、ウエハステージ 1 8 a をステップ移動してウエハ 1 7 a 上の露光対象のショット領域を走査開始位置に移動した後、レチクルステージ 1 1 及びウエハステージ 1 8 a を介してレチクル 1 2 及びウエハ 1 7 a を投影光学系 P L の倍率  $\beta$  を速度比として X 方向に走査するという動作がステップ・アンド・スキャン方式で繰り返されて、ウエハ 1 7 a 上の各ショット領域にレチクル 1 2 のパターン像が逐次転写される。

このような露光に際しては、レチクル 1 2 とウエハ 1 7 a との位置合わせを高精度に行う必要があるため、本例の投影露光装置にも不図

示であるが、レチクル 1 2 上のアライメントマークの位置を計測するレチクルアライメント顕微鏡（R A 顕微鏡）、及びウエハ 1 7 a 上のアライメントマークの位置を計測するアライメントセンサが備えられている。これらの R A 顕微鏡及びアライメントセンサによるアライメントマークの位置計測に際して、上記の計測部 8 を備えるレチクル干渉計及び計測部 2 2 を備えるウエハ干渉計の計測値が用いられる。

なお、レチクル上に形成されたアライメントマークと、ウエハステージ上に設けられた基準マークとの位置合わせを投影光学系を介して行う場合には、後述する送風板 1 5 の開口を介して行われる。

さて、露光対象のウエハ 1 7 a の表面には、感光材料としてのフォトレジストが塗布されている。そして、上記の走査露光を行うと、露光光 I L の光エネルギーにより、フォトレジストを構成する分子（主に有機分子）の結合が壊れ、その一部がいわゆる「脱ガス」としてウエハ 1 7 a の上部の空間に放出される。この脱ガスを放置すると、投影光学系 P L 中のレンズのうち、ウエハ 1 7 a に最も近いレンズ L F の表面にその脱ガスが紫外光と反応して生成された曇り物質が堆積し、それに伴って、投影光学系 P L の透過率が低下する。言い換えれば、ウエハ 1 7 a 上での露光光 I L の照度（露光強度）が低下する。その結果、そのフォトレジストに対して必要な露光量を得るためには、長い露光時間が必要となってスループットが低下する恐れがある。

そこで本例では、投影光学系 P L とウエハ 1 7 a との間に薄い平板状のステンレス等の金属製の開口板としての送風板 1 5 を設け、投影光学系 P L とウエハ 1 7 a との間の空間を送風板 1 5 によって投影光学系 P L 側の第 1 の空間 S 1 と、ウエハ側の第 2 の空間 S 2 とに大まかに分離している。但し、送風板 1 5 は、結像光束を遮らないように、露光光 I L の光路の部分が開口部 1 5 a となっていることは言うまでもない。また、送風板 1 5 と投影光学系 P L との間の側面部、及びその側面部と投影光学系 P L の鏡筒 1 4 との間を覆うようにそれぞれ隔壁部 1 6 a 及び 1 6 b が設けられ、送風板 1 5 及び隔壁部 1 6



a, 16bよりなる送風室16で囲まれた第1の空間S1は、開口部15aを除いて密閉されている。また、第2の空間S2は、開口部15aを除いて送風室16の外表面、鏡筒14の外表面及びウエハ室24によって密閉されている。

更に、投影光学系PLによる露光領域（本例では光軸AXを中心としてY方向に細長い領域）を挟むように、即ちX方向に対向するように送風室16に排気口G1e及び給気口G1iが設けられている。そして、送風室16内の気体は連続的に、排気口G1e及び排気管109-1を介してガス純化装置45-1（詳細後述）に回収され、ガス純化装置45-1から露光ビームを透過する高純度の気体が連続的に給気管108-1及び給気口G1iを介して送風室16内に供給される。この際に、一例としてガス純化装置45-1による空間S1に対する気体（第1の気体）の単位断面積当たりの流量に対して、ガス純化装置45-2による空間S2に対する気体（第2の気体）の単位断面積当たりの流量は小さく設定されている。

このように、送風板15と投影光学系PL及び鏡筒14との間の空間S1に、投影光学系PLによる露光領域の上方を横切るようにX方向に送風を行うことで、ウエハ17aのフォトレジストから発生した脱ガスは効率よく風下側に運び去られて、排気口G1eからガス純化装置45-1に吸引される。従って、投影光学系PLのウエハ側のレンズLFの表面に曇り物質が付着することがなくなり、投影光学系PLの露光光ILに対する透過率は高く維持される。また、吸引された脱ガスを含む気体を補うように、ガス純化装置45-1から給気口G1iを介して空間S1内に、真空紫外光に対する吸収の少ない、高純度の窒素ガスやヘリウム等の希ガスが供給されているため、投影光学系PLとウエハ17aとの間の露光光ILの光路上での透過率も高く維持されて、ウエハ17a上で露光光ILの高い照度を得られる。

なお、露光領域よりも風下側には、送風板15は必ずしも設けなくとも良いが、脱ガス物質が、ウエハ17a上の他の部分に落下して、

その部分に悪影響を与える恐れもあるので、送風板 1 5 は風下側にも設けておくことが好ましい。ウエハ 1 7 a 上に発生する脱ガス物質を効率よく排出するために、ウエハ 1 7 a の表面と、送風板 1 5 との間隔は、5 mm 程度以下に設定することが望ましい。

但し、脱ガス物質のうちの或る程度は、ウエハ 1 7 a と送風板 1 5 との間の空間等を通してウエハ室 2 4 内に漏れ出してしまう。従って、ウエハ室 2 4 内の気体についても、或る程度循環及び純化を行い、その不純物の混入率を所定の許容レベル（空間 S 1 内の許容レベルよりも高く設定されている）以下に維持する必要がある。そのため、上記のようにウエハ室 2 4 にもガス純化装置 4 5 - 2 から露光光 I L を透過する高純度の気体（第 2 の気体）を供給している。

また、ウエハ 1 7 a のフォトレジストから発生した脱ガスの一部が空間 S 1 を介して排出されずに、送風板 1 5 のウエハ側の面に不純物質が付着する可能性がある。そこで、送風板 1 5 は、交換可能に構成されることが望ましい。

更に、第 1 の空間 S 1 に供給する気体としては、窒素等の気体に比べて分子量が小さくて軽いヘリウムを使用し、第 2 の空間 S 2 に供給する気体としては窒素を使用することが望ましい。これは、ヘリウムを空間 S 1 に供給した場合、送風板 1 5 の開口を介して空間 S 2 に漏れる量が少ないため、ウエハ 1 7 a のレジストから発生した脱ガスを効率良く回収することができるためである。

本例のガス純化装置 4 5 - 1 , 4 5 - 2 , 4 5 - 5 、並びに照明光学系用及び投影光学系用の不図示のガス純化装置より供給・排気装置 1 0 7 が構成され、供給・排気装置 1 0 7 は一例として床 1 0 4 の階下の機械室（露光装置本体が設置される空間とは異なる空間）内に収納されている。ガス純化装置 4 5 - 1 , 4 5 - 2 , 4 5 - 5 の構成は互いに同様であるため、それらを代表するガス純化装置 4 5 を用いてその構成を説明する。

図 2 は、ガス純化装置 4 5 及び対応するチャンバ 1 1 0 （図 1 のレ

チクル室 6、送風室 1 6、又はウエハ室 2 4) で囲まれた空間 S を示し、この図 2 において、ガス純化装置 4 5 は、吸引送風用のポンプ 4 6、H E P A フィルタ (high efficiency particulate air-filter) 又は U L P A フィルタ (ultra low penetration air-filter) 等の集塵フィルタ 4 7、供給される気体中の酸素、水蒸気、二酸化炭素及び有機ガス (フォトレジストからの脱ガス等) を除去するための不純物除去フィルタ 4 8、並びに恒温装置 4 9 より構成されている。また、恒温装置 4 9 内には、純化された気体の不純物 (酸素、水蒸気等) の濃度を計測するセンサ、及び露光光を透過する高純度の気体 (窒素、ヘリウム等) が圧搾されて、又は液化されて蓄積された蓄積部も含まれている。

そして、チャンバ 1 1 0 内の空間 S 中の不純物を含む気体は、排気口 G e 及び排気管 1 0 9 を介してポンプ 4 6 に吸引され、吸引された気体は集塵フィルタ 4 7 及び不純物除去フィルタ 4 8 を経て不純物が除去されて恒温装置 4 9 に至る。恒温装置 4 9 においては、不純物除去フィルタ 4 8 から送られて来る気体の流量、及び不純物の濃度を計測し、流量が許容範囲内で不純物の濃度が許容レベル以下である場合には、その気体を所定の温度範囲内に温度制御して、給気管 1 0 8 及び給気口 G i を介して空間 S 内に送風する。一方、不純物除去フィルタ 4 8 から送られて来る気体の流量が許容範囲より少ない場合、又は不純物の濃度が許容レベルよりも高い場合には、その気体に上記の蓄積部から取り出した高純度の気体を補充し、補充後の気体を温度制御して、給気管 1 0 8 及び給気口 G i を介して空間 S 内に送風する。

この結果、空間 S 中の気体からは酸素、水蒸気、及び有機ガス (フォトレジストからの脱ガス等) の不純物が除去されると共に、空間 S 中には露光光を透過する気体が必要な流量だけ供給される。この際に、露光光を透過する気体はできるだけ再利用されるため、その気体としてヘリウムのように比較的高価な気体を使用する場合でも、運転コストは低く抑えられる。

更に、図 1 に示すように、本例では送風板 1 5 を用いて空間 S 1 に局所的に露光光を透過する気体（第 1 の気体）を送風し、送風されて脱ガスを含む気体をガス純化装置 4 5 - 1 を用いて重点的に純化（不純物の除去）しているため、投影光学系 P L とウエハ 1 7 a との間の露光光を透過する気体の純度は高く維持される。従って、ウエハ室 2 4 内の空間 S 2 に送風される気体（第 2 の気体）の純化（不純物の除去）は、その空間 S 1 中に送風される第 1 の気体と比べて低いレベルで行うこともできる。この場合、ウエハ室 2 4 内の空間 S 2 に送風を行うガス純化装置 4 5 - 2 の不純物を除去する除去能力を、空間 S 1 に送風を行うガス純化装置 4 5 - 1 の不純物を除去する除去能力より低くすることができる。従って、ウエハ室 2 4 内の全体に一律に高純度の気体を送風する方式に比べて、露光光 I L を透過する高純度の気体の使用量は少なくて済み、運転コストが低く抑えられる。

更に、空間 S 1 中では X 方向にほぼ一定速度で送風を行っているため、結像光束の光路上での屈折率分布がほぼ一様となり、結像特性も安定に維持される。

また、レチクル室 6 内に送風を行うガス純化装置 4 5 - 5 と、ウエハ室 2 4 内の空間 S 2 に送風を行うガス純化装置 4 5 - 2 とを共通化することも可能であり、これによって給排気装置 1 0 7 の構成を簡素化できる。

なお、上記のように送風板 1 5 とウエハ 1 7 a との間隔は、5 mm 程度以下が望ましいが、ウエハステージ 1 8 a（ウエハホルダ）上のウエハ 1 7 a の交換に際しては、ウエハ 1 7 a が上下動できるためのクリアランスが必要である。そこで、ウエハ交換を行うために、図 1 に破線で示すように、ウエハステージ 1 8 a 及びウエハ 1 7 a を投影光学系 P L の底部から離れた位置 1 8 b 及び 1 7 b に移動した状態では、送風板 1 5 は、位置 1 7 b のウエハより十分に離れた位置となっていることが望ましい。その状態で開閉窓 2 5 を開き、位置 1 7 b のウエハを上昇させてウエハローダ 2 6 の一つのアーム上の位置 1

7 c に受け渡した後、別のアーム（不図示）を介して未露光のウエハを位置 1 8 b のウエハステージ上に載置することによって、ウエハ交換が行われる。

なお、ウエハ 1 7 a の交換に際しては、ウエハローダ 2 6 や開閉窓 2 5 の動作、及び位置 1 7 b におけるウエハの上下動等は発塵の恐れが高いので、ウエハ交換位置は、図 1 の例のように送風室 1 6 内での局所的な送風、及びウエハ室 2 4 内の送風の風下側に設定することが望ましい。即ち、送風板 1 5 を用いた空間 S 1 に対する第 1 の気体の送風、及び空間 S 2 に対する第 2 の気体の送風は、何れもウエハロード位置（ウエハローダ 2 6）が風下側となるように、その反対側から行うことが望ましい。

また、ウエハ 1 7 a と送風板 1 5 との間隔を上記の通り 5 mm 程度以下に設定するには、ウエハ 1 7 a を保持するウエハホルダ上に例えば数 mm 程度以上の段差構造がある、即ちウエハ 1 7 a の表面より高い部分があることは好ましくない。従って、本例の投影露光装置では、そのウエハホルダの上面は可能な限り平坦として、ウエハ 1 7 a の表面より盛り上がった部分は設けないことが望ましい。

更に、ウエハ干渉計の移動鏡 1 9 a の上端の高さもウエハ 1 7 a の表面より低くすることが望ましい。しかしながら、移動鏡 1 9 a の上端をウエハ 1 7 a の表面より低くすると、計測用のレーザビームの照射位置がウエハ 1 7 a の表面からずれてしまい、ウエハステージ 1 8 a にピッチングやローリングが発生すると、計測誤差（いわゆるアッペ誤差）が生じる。その計測誤差を補正するために、本例の移動鏡 1 9 a に照射される各レーザビームは、実際にはそれぞれ Z 方向に離れた 2 本のレーザビームよりなり、2 本のレーザビーム毎の X 座標又は Y 座標の計測値の差分を求めることで、ピッチングやローリングに伴う計測誤差を補正できるように構成されている。このような構成とすることにより、送風板 1 5 とウエハ 1 7 a との間隔を上記の 5 mm 程度よりも更に短くすることが可能となり、露光光路からの不純物除去

の効果が更に高くなる。

ところで、投影露光装置においては、ウェハの表面を、投影光学系の焦点面に正確に合わせるために、斜入射方式で光学式の焦点検出装置が備えられている場合が多い。本例の投影露光装置においても、不図示であるがその焦点検出装置としてのオートフォーカスセンサ（以下、「AFセンサ」と言う）が設けられている。この場合、AFセンサによる焦点検出用の例えば可視域から近赤外域程度の光束（検出ビーム）の光路を送風板15で遮光しないようにする必要がある。そのためには一例として送風板15の一部にその光束を通過させる開口、又はその光束を透過するガラス基板よりなる窓を設けてもよく、別の方法として送風板15とウェハ17aとの間にその光束を通すようにしてもよい。

また、更に別の方法として、図3に示すように、送風板15を所定の間隔を隔てて配置された2枚の送風板として、その間隔の部分に焦点検出用の光束を通してよい。この2枚の送風板の組み合わせも本発明の開口板に対応している。

即ち、図3Aは、図1の投影露光装置のAFセンサの一例を示す図、図3Bは、図3Aの投影光学系PLの底面側の部材を示す平面図であり、図3Aにおいて、AFセンサは送光系30及び受光系31より構成されている。そして、送光系30において、ハロゲンランプ（又は発光ダイオード等）からなる光源36からの光束で送光側スリット37が照明され、送光側スリット37を通過した光束32がミラー38及び不図示の結像レンズを介して、ウェハ17a上に投影光学系PLの光軸AXに対して斜めにスリット像を形成する。

ウェハ上17aからの反射光33は、受光系31内で不図示の結像レンズ及びミラー39を経て受光側スリット40上に再度スリット像を結像し、受光側スリット40を通過した反射光が光電検出器41で受光され、光電検出器41からの検出信号FSが図1の主制御系105に供給される。この場合、ウェハ17aの上下動によりそのスリ

ット像と受光側スリット40との位置関係が変わるので、例えば受光側スリット40を振動させて、検出信号FSを同期整流することによって、ウエハ17aの光軸AX方向の位置（フォーカス位置）に応じて信号レベルが変化するフォーカス信号が得られる。露光時にはそのフォーカス信号よりウエハ17aのフォーカス位置が検出できる。

この場合、焦点検出用の光束のウエハ17aへの入射角の平均値は80°以上であり、投影光学系PLの開口数NAを最大値に近い0.80程度であるとする、投影光学系PLからウエハ17aに入射する結像光束の入射角の最大値は55°程度である。従って、焦点検出用の光束の入射角は結像光束の入射角よりもかなり大きくなるため、送風板15が単に中央に開口部15aを持つ金属製の平板であると、その光束は送風板15によって遮光されてしまう。

そこで、本例では送風板15を図3Bに示すように、2枚の送風板15b, 15cに分割し、その間隙15dに沿って送光系30及び受光系31を配置し、焦点検出用の光束32、被検面からの反射光33、及び投影光学系PLからの結像光束がその隙間15dを通過するようにしている。この場合、ウエハ17a上の露光領域35は、長手方向が隙間15dに沿った方向に設定されている。そして、送風板15b, 15cと投影光学系PL（鏡筒14）との間に送風される露光光を透過する気体は、送風板15b側を風上とし、矢印D1で示すように送風板15c側に送風する。これによって、露光光を透過する気体（上記の第1の気体）の中で送風板15b, 15cの隙間15dから漏れ出る量が少なくなり、AFセンサの配置が容易になると共に、運転コストが低減される。

なお、複数の焦点検出用の光束を使用して、露光領域35の複数箇所のフォーカス位置を計測し、ウエハ面と投影光学系の像面との傾きを計測することも可能である。また、図3Bの風下側の送風板15cは、前述の通り脱ガス物質のウエハ17a上の他の場所への落下の防止にも有効であるが、前述の如く恒温化された第1の気体の送風は、

投影光学系の温度調整のためにも有効であり、露光領域 3 5 よりも風下側の投影光学系の鏡筒 1 4 にも、風上側と同様に恒温化された気体が流れていることが望ましい。従って、投影光学系の恒温化の観点からも、風下側の送風板 1 5 c は重要である。

次に、投影露光装置では、転写対象のレチクル及びウエハの位置決め精度を高めるために、レチクル及びウエハの表面に沿った方向（位置決め方向）の位置の計測精度を高める必要がある。前述の通り、図 1 において、レチクル 1 2 及びウエハ 1 7 a の位置決め方向の位置計測は、レーザ干渉計によって行われているが、真空紫外域の露光光を使用する投影露光装置において、レチクル 1 2 及びウエハ 1 7 a の配置される空間（レチクル室 6 内、ウエハ室 2 4 内）を希ガスで満たした場合、その希ガス、特にヘリウムは、その屈折率の変動量が少ないため、気圧変化及び温度変化に対する波長の変動量が少なく、干渉計による測長値に誤差が生じにくいと言う利点がある。

しかしながらその反面で、希ガス、特にヘリウムは、空気に含まれる他の気体（窒素、酸素）との屈折率差が大きいという問題がある。即ち、例えば概ねヘリウムで満たされた干渉計の光路に、窒素ガスが不純物として混入すると、干渉計の光路上の気体の屈折率変動し、干渉計の測長値に誤差が生じてしまうことになる。

これを防止する 1 つの方法は、図 1 中のウエハ室 2 4 及びレチクル室 6 内に送風する気体中の、窒素（又は窒素、酸素、二酸化炭素の全部）の濃度を、変動量も含めて 20 ppm 以下に抑えることである。これを実現するには、図 2 のガス純化器 4 5 に窒素ガス濃度計と、窒素ガス除去フィルタ等とを設け、空間 S 内に送風される気体中の窒素ガスの濃度を所定レベル以下に制御する方式とすればよい。なお、酸素や二酸化炭素は、真空紫外光に対する吸収の強い気体であるため、その残留濃度は、露光光吸収の観点からも 20 ppm 以下に抑えるべきであり、ガス純化器 4 5 中の不純物除去フィルタ 4 8 が酸素や二酸化炭素の吸収機構としても作用している。



また、別の方法として、図 1 のレチクル室 6 及びウェハ室 2 4 内に希ガス中のヘリウムを供給するものとして、干渉計の計測部 8, 2 2 からの計測用レーザビームの光路上の窒素ガス濃度を計測し、ヘリウムガスと窒素ガスとの混合比から干渉計光路上の屈折率を推定し、その値に基づいて、干渉計の計測値を補正するようにしてもよい。この方法によっても窒素混入の悪影響を防ぐことができる。

次に、図 4 A、図 4 B を参照して本発明の第 2 の実施の形態につき説明する。本例は図 1 の実施の形態に対して、干渉計の光路に対する窒素ガス等の屈折率が異なる気体の混入の影響を低減するための機構を備えたものであり、図 4 A、図 4 B において図 1 に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

図 4 A は、本例のウェハ干渉計の光路を示し、この図 4 A において、ウェハ室 2 4 内にウェハベース 2 0、ウェハホルダ（不図示）を含むウェハステージ 1 8 d、ウェハ 1 7 d 及び投影光学系 P L の鏡筒 1 4 の下端が収納されている。本例でも走査露光時のウェハ 1 7 d の走査方向は X 方向である。また、ウェハステージ 1 8 d の端部、及び鏡筒 1 4 の下端にそれぞれ移動鏡 1 9 d 及び固定鏡 2 9 が固定され、投影光学系 P L とウェハ 1 7 d との間、ひいては固定鏡 2 9 と移動鏡 1 9 d との間に結像光束の光路が開口部 1 5 a とされた送風板 1 5 e が設置され、送風板 1 5 e と鏡筒 1 4 との間のほぼ右半面（+ X 方向）側の空間を覆うように側面の隔壁 1 6 c 及び上部の隔壁 1 6 d が設置されている。また、移動鏡 1 9 d 及び固定鏡 2 9 の前方（- X 方向）、及び送風板 1 5 e の左側の端部を覆うように上部の隔壁 1 6 e、側面の隔壁 1 6 f、及び底部の隔壁 1 6 g が設置されている。

そして、ウェハ室 2 4 の外部のウェハ干渉計の計測部 2 2 から射出された 2 種類の偏光成分よりなる計測用のレーザビーム 2 3 が、隔壁 1 6 f の窓部 2 7 a を通って偏光ビームスプリッタ 2 8 a に入射し、P 偏光の計測ビーム 2 3 a は偏光ビームスプリッタ 2 8 a を透過して X 軸に沿って移動鏡 1 9 d に入射し、S 偏光の参照ビーム 2 3 b は

偏光ビームスプリッタ 28 a で反射された後、送風板 15 e に設けられた窓部 27 b を通り、ミラー 28 b で反射されて X 軸に沿って固定鏡 29 に入射する。また、移動鏡 19 d で反射された計測ビーム 23 a 及び固定鏡 29 で反射された参照ビーム 23 b はそれぞれ入射時の光路を逆に戻って同軸に合成されて計測部 22 に戻る。計測部 22 では、戻された計測ビーム 23 a 及び参照ビーム 23 b を検出して例えばヘテロダイン干渉方式で、固定鏡 29 を基準として移動鏡 19 d (即ち、ウエハステージ 20 及びウエハ 17 d) の X 方向 (走査方向) の位置を計測する。

本例では送風板 15 e とウエハ 17 d との間隔を狭くできるように、ウエハステージ 18 d 上の不図示のウエハホルダの表面、及び移動鏡 19 d の上面はウエハ 17 d の表面よりも低いほぼ同一平面上に配置されている。そのため、計測ビーム 23 a の高さはウエハ 17 d の表面よりも低くなり、ウエハステージ 18 d のピッチングによる計測誤差を補正するために、計測ビーム 23 a を Z 方向に離れた 2 本のビームとして、これらの 2 本のビーム毎に X 座標を求め、例えばこれらの X 座標の平均値をこれらの X 座標の差分より求めたピッチング量で補正することが望ましい。

このように計測部 22 は X 軸の計測部であるが、同様に Y 軸の計測部 (不図示) も設けられている。以上のように、本例でも投影光学系 PL とウエハ 17 d との間の空間は、送風板 15 e によって投影光学系 PL 側の第 1 の空間 S6 と、ウエハ側の第 2 の空間とに大まかに分離されている。また、計測ビーム 23 a 及び参照ビーム 23 b の光路は、隔壁 16 e, 16 f, 16 g 及び送風板 15 e によってほぼ囲まれている。

更に、第 1 の空間 S6 の +X 方向側の上端に排気口 G6 e が設けられ、-X 方向側の上端に給気口 G6 i が設けられ、排気口 G6 e 及び給気口 G6 i はそれぞれ排気管 109-6 及び給気管 108-6 を介して、図 1 のガス純化装置 45-1 に接続されており、空間 S6 内

の気体はガス純化装置 4 5 - 1 に吸引されて不純物が除去された後、必要に応じて露光光を透過する高純度の気体（窒素、又はヘリウム等の希ガス）が加えられて空間 S 6 に送風される。本例の送風方向は計測ビーム 2 3 a 及び参照ビーム 2 3 b の光路に沿った X 方向、即ち走査露光時のウエハの走査方向に平行である。

本例において、給気口 G 6 i を介して供給された気体の一部の気体 G 6 1 は、空間 S 6 中の参照ビーム 2 3 b の光路に沿って流れ、更に気体 G 6 1 の一部の気体 G 6 3 は送風板 1 5 e と投影光学系 P L との間の空間を排気口 G 6 e 側に流れる。これによって、ウェハ 1 7 d からの脱ガス物質が効率的に排気されることは図 1 の実施の形態と同様である。また、その供給された気体中の残りの気体 G 6 2 は、送風板 1 5 e と隔壁 1 6 f との間を流れた後、計測ビーム 2 3 a の光路の上下の気体 G 6 4 , G 6 5 としてその光路に沿ってウェハステージ 1 8 d 側に流れる。

この際に、送風される気体 G 6 1, G 6 3, G 6 4, G 6 5 の源は、共に給気部 G 6 i より送風される気体（第 1 の気体）であり、計測ビーム 2 3 a 及び参照ビーム 2 3 b の光路に送風される気体は、共に同じ濃度（混入率）の不純物（窒素ガス等）を含んでおり、屈折率も等しい。従って、ウエハ 1 7 d（移動鏡 1 9 d）の位置を、本例のように両光路の差として計測している限り、干渉計の光路上の窒素ガス濃度等の変動が位置計測値に悪影響を与えることは殆どない。更に、偏光ビームスプリッタ 2 8 a から移動鏡 1 9 d までの光路長と、偏光ビームスプリッタ 2 8 a からミラー 2 8 b を経て固定鏡 2 9 までの光路長とが等しくなり、いわゆるデッドパスが 0 になると、干渉計の光路上の窒素ガス濃度等の変動の悪影響は全くなくなる。

但し、上記のデッドパスが 0 となる条件は、ウエハステージ 18 d (移動鏡 19 d) の移動により成立しなくなるので、図 4 A の実施の形態でも、給気口 G 6 i から供給される気体中の不純物の濃度は所定の許容値以下にすることが好ましい。例えばその不純物としての窒素

ガスの濃度の変動量は、100ppm程度以下に抑えることが好ましい。あるいは、この場合にも前述のように、窒素ガスの濃度を測定して、干渉計の光路上の屈折率変化分を計算により補正することも可能である。

同様に、図4Bは、本例のレチクル干渉計の光路を示し、この図4Bにおいて、レチクル室6内にレチクルベース10、レチクルステージ11、レチクル12及び投影光学系PLの鏡筒14の上端が収納されている。また、レチクルステージ11の端部、及び鏡筒14の上端にそれぞれ移動鏡13及び固定鏡51が固定され、移動鏡13及び固定鏡51の前方(+X方向)をU字型に覆うように上部の隔壁52、外側の隔壁53、及び内側の隔壁54が設置されている。

そして、レチクル室6の外部のレチクル干渉計のX軸用の計測部8から射出された計測用のレーザビーム9が、隔壁53の窓部55を通して偏光ビームスプリッタ50aに入射し、P偏光の計測ビーム9aはそのまま透過してX軸に沿って移動鏡13に入射し、S偏光の参照ビーム9bは偏光ビームスプリッタ50aで反射された後、プリズム型のミラー50bで反射されてX軸に沿って固定鏡51に入射する。移動鏡13で反射された計測ビーム9a及び固定鏡51で反射された参照ビーム9bはそれぞれ入射時の光路を逆に戻って同軸に合成されて計測部8に戻る。計測部8では、ウェハ干渉計と同様に、固定鏡51を基準として移動鏡13(即ち、レチクルステージ11及びレチクル12)のX方向(走査方向)の位置を計測する。このように計測ビーム9a及び参照ビーム9bの光路は、隔壁52, 53, 54によってほぼ囲まれている。

更に、隔壁52, 53の境界部に給気口G7iが設けられ、不図示であるが、レチクルベース10の-X方向側に排気口が設けられ、これらの排気口及び給気口G7iはそれぞれ排気管及び給気管108-7を介して、図1のガス純化装置45-5に接続されており、レチクル室6内の気体はガス純化装置45-5に吸引されて不純物が除

去された後、必要に応じて露光光を透過する高純度の気体（窒素、又はヘリウム等の希ガス）が加えられて給気口 G 7 i から再供給される。本例の送風方向は計測ビーム 9 a 及び参照ビーム 9 b の光路に沿った X 方向、即ち走査露光時のレチクルの走査方向に平行である。なお、不図示であるが、Y 軸のレチクル干渉計も同様に配置されている。

本例において、給気口 G 7 i を介して供給された気体の一部の気体 5 6 は、計測ビーム 9 a の光路に沿って流れ、残りの気体 5 7 は、隔壁 5 3, 5 4 の間を下方に流れた後、参照ビーム 9 b の光路に沿った気体 5 8 として投影光学系 P L 側に流れる。この際に、送風される気体 5 6, 5 8 は、共に同じ濃度（混入率）の不純物（窒素ガス等）を含んでおり、屈折率も等しい。従って、レチクル 1 2 の位置を、本例のように両光路の差として計測している限り、干渉計の光路上の窒素ガス濃度等の変動が位置計測値に悪影響を与えることは殆どない。

ところで、走査露光型の露光装置では、図 1 においてレチクル 1 2 とウエハ 1 7 a との結像関係を保ったまま、双方をスキャンして露光を行う必要がある。そして、高精度な走査を実現するために、ウエハステージ 1 8 a 及びレチクルステージ 1 1 にはエアーベアリングが採用されている。エアーベアリングは、ベースとの接触面に噴気孔の設けられたエアークッションに所定圧力の気体を供給し、前記噴気孔からベースにその気体を噴射させることでエアークッションを浮上させ、エアークッションとベースとの間の摩擦を低減させる機構である。この際に、エアークッションは、ステージ可動部（レチクルステージ 1 1、ウエハステージ 1 8 a）の底面に固定される。なお、エアーベアリング自体には、加速機能はないので、加減速動作は、例えばリニアモータにより行う。

露光装置のウエハステージ 1 8 a 及びレチクルステージ 1 1 は、かなりの重量になるので、これを浮上させるには、そのエアークッションに、かなりの流量の気体を送り込まなければならない。そして、通常のエアーベアリングを用いた場合には、その浮上用の気体は、そのエアー

パッドから放出されてウエハ室 2 4 及びレチクル室 6 内に拡散していくことになる。従って、エアーパッドに供給する気体は、露光光（本例では真空紫外光）の吸収が少ない気体でなければならないが、酸素や水蒸気等を十分に除去した気体を、ウエハステージ 1 8 a 及びレチクルステージ 1 1 を浮上させるほどに大量に供給するものとする、給排気装置 1 0 7 の構成が大型化し複雑化して製造コストが上昇すると共に、運転コストもかなり高くなる。

そこで、上記の図 1 の実施の形態では、差動排気型のエアーパッドを用いたエアーベアリング方式を採用している。

図 5 は、図 1 中のレチクルステージ 1 1 用の差動排気型のエアーパッド 8 0 の部分（エアーベアリング装置）を示す拡大断面図であり、この図 5 において、気体源 8 1 から給気管 8 2 を介して供給される浮上用の気体（本発明の第 4 の気体に対応する）は、エアーパッド 8 0 内の噴気孔 8 3 よりレチクルベース 1 0 上に噴射される。その一方で、エアーパッド 8 0 の噴気孔 8 3 を囲む吸気溝 8 4 を排気管 8 5 を介して吸引ポンプ 8 6 に接続することによって、排気管 8 5 内を減圧し、噴気孔 8 3 より噴射された気体を、その周囲の吸気溝 8 4 より吸引して排気管 8 2 を介して排気する。

これによって、エアーパッド 8 0 をレチクルベース 1 0 に対して間隔  $d$  ,  $e$  が数  $\mu m$  程度になる状態に浮上させ、かつ、その浮上用の気体をエアーパッド 8 0 の外部に殆ど漏らさないことが可能になる。

以上により、本例のエアーベアリングで使用する気体が、露光光路に漏れることは殆ど無くなるので、本例においては、エアーベアリングで使用する浮上用の気体（例えば比較的純度の低い窒素ガス等）に対する不純物の濃度（混入率）の許容値を、大幅に上昇させることができコスト的に有利となる。あるいは、その浮上用の気体としては、例えば乾燥空気を使用することも可能であり、これによって一層のコストダウンが図れる。

なお、エアーベアリングからの気体の漏れを一層少なくするには、

レチクルベース 10 の表面を、コーティング処理又は鏡面処理することが有効である。また、本例ではその差動排気型のエアーパーリングが、ウェハステージ 18 a 側にも採用されている。

なお、上記の実施の形態は本発明を走査露光型の投影露光装置に適用したものであるが、本発明は一括露光型（ステッパー等）の投影露光装置等にも適用することができる。また、本発明の第 2 の実施の形態は、例えばプロキシミティ方式の露光装置等にも適用することができる。

また、本発明の露光光は、エキシマレーザ等からのレーザビームであるが、その露光光としては、DFB（Distributed feedback：分布帰還型）半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（Er）（又はエルビウムとイッテルビウム（Yb）との両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いてもよい。

例えば、単一波長レーザの発振波長を  $1.544 \sim 1.553 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、 $193 \sim 194 \text{ nm}$  の範囲内の 8 倍高調波、即ち ArF エキシマレーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を  $1.57 \sim 1.58 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、 $157 \sim 158 \text{ nm}$  の範囲内の 10 倍高調波、即ち F2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

更に、発振波長を  $1.03 \sim 1.12 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $147 \sim 160 \text{ nm}$  の範囲内である 7 倍高調波が出力され、特に発振波長を  $1.09 \sim 1.106 \mu\text{m}$  の範囲内とすると、発生波長が  $157 \sim 158 \text{ nm}$  の範囲内である 7 倍高調波、即ち F2 レーザとほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合の単一波長発振レーザとしては、例えばイッテルビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光

装置本体に組み込み、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるウェハステージ（スキャン型の場合はレチクルステージも）を露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続する。また、投影光学系 P L とウェハとの間に送風板を配置し、レチクル室 6、ウェハ室 2 4 を構成する各隔壁等を組み付け、レチクル室 6、ウェハ室 2 4、投影光学系 P L と送風板 1 5 との間に露光光が透過する気体を供給するためのガス供給管を接続し、また、その空間内の気体を排気するガス排気管を接続する。更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより、上記実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

#### 《デバイス製造方法》

次に上述した露光装置をリソグラフィ工程で使したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図 6 には、デバイス（I C や L S I 等の半導体チップ、液晶パネル、C C D、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図 6 に示されるように、まず、ステップ 2 0 1（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ 2 0 2（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ 2 0 3（ウェハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。

次に、ステップ 2 0 4（ウェハ処理ステップ）において、ステップ 2 0 1～ステップ 2 0 3 で用意したマスクとウェハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウェハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ 2 0 5（デバイス組立てステップ）において、ステップ 2 0 4 で処理されたウェハを用いてデバイス組立てを行う。このステップ 2 0 5 には、ダイシング工程、ボンディング工程、



及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作成されたデバイスの動作確認テスト、耐久テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図7には、半導体デバイスにおける、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図7において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打ち込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明した各実施形態の露光装置及びその露光方法によってマスクの回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法を用いれば、露光工程（ステップ216）において上記実施形態の露光装置が用いられるので、露光精度の向上とスループットの向上により高集積度のデバイス

の生産性を向上することができる。

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

09690591-101800

What is claimed is:

1. 第1物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第2物体を露光する露光方法は、以下を備える：

前記投影系と前記第2物体との間の空間を前記投影系側の第1の空間と前記第2物体側の第2の空間とに分けて、該第1及び第2の空間の境界部の少なくとも前記露光ビームが通過する領域に開口部を設け；

前記第1の空間側に前記露光ビームを透過する第1の気体を供給し；

前記第1の気体は、前記第2の空間側の第2の気体に比べて前記露光ビームを吸収する不純物の混入率が低い。

2. 請求項1に記載の露光方法において、

前記第1の空間において、前記第1の気体を一方向から送風することを特徴とする露光方法。

3. 請求項1に記載の露光方法において、

前記露光ビームは波長180nm以下の真空紫外光であり、前記露光ビームを透過する第1又は第2の気体は希ガス又は窒素ガスであることを特徴とする露光方法。

4. 第1物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第2物体を露光する露光方法は、以下を備える：

前記第1物体又は前記第2物体を保持してベース部材上を移動するステージを前記露光ビームを透過する第3の気体が供給される空間内に配置し；

前記ステージを前記ベース部材上に第4の気体の噴射と該第4の気体の吸引とによって差動排気型で浮上させ；

前記第 4 の気体の前記露光ビームに対する吸収率の許容度を前記第 3 の気体よりも高く設定する。

5. 請求項 4 に記載の露光方法において、

前記第 3 の気体と前記第 4 の気体とは、互いに異なる気体であることを特徴とする露光方法。

6. 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法は、以下を含む：

前記第 1 物体又は前記第 2 物体と共に移動するステージと所定の参照部材とにそれぞれ計測用ビーム及び参照ビームを照射して、前記参照部材に対する前記第 1 物体又は前記第 2 物体の位置を計測し、；

前記計測用ビーム及び前記参照ビームの光路を互いに前記露光ビームを吸収する不純物の混入率が同程度の気体の雰囲気にする。

7. 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法は、以下を含む：

前記投影系と前記第 2 物体との間の空間を前記投影系側の第 1 の空間と前記第 2 物体側の第 2 の空間とに分けて、該第 1 及び第 2 の空間の境界部のうち、少なくとも前記露光ビームが通過する領域に開口部を設け；

前記第 1 の空間に前記露光ビームを透過する気体を送風し；

前記露光ビームを照射することにより発生する前記第 2 物体からの物質を、前記第 1 の空間で送風される前記気体を介して、前記露光ビームの光路中から排出することを特徴とする露光方法。

8. 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法は、以下を含む：

前記投影系と前記第 2 物体との間の空間を前記投影系側の第 1 の

空間と前記第 2 物体側の第 2 の空間とに分けて、該第 1 及び第 2 の空間の境界部のうち、前記第 1 物体又は前記第 2 物体の位置を検出するための検出ビームが通過する領域に開口を設け；

前記第 1 の空間に前記露光ビームが透過する気体を供給する。

9. 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法は、以下を含む：

前記投影系と前記第 2 物体との間の空間を前記投影系側の第 1 の空間と前記第 2 物体側の第 2 の空間とに分け；

前記第 1 の空間の不純物の混入率を、前記第 2 の空間の不純物の混入率より低くする。

10. 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光装置は、以下を含む：

前記投影系と前記第 2 物体との間に配置されて、前記露光ビームを通過させるための開口が形成された開口板；、

該開口板と前記投影系との間の第 1 の空間に前記露光ビームを透過する第 1 の気体を供給する第 1 の気体供給機構；

前記開口板と前記第 2 物体との間の第 2 の空間に供給され、前記露光ビームを透過すると共に、前記第 1 の気体に比べて前記露光ビームを吸収する不純物の混入率が異なるように第 2 の気体の環境を制御する環境制御機構。

11. 請求項 10 に記載の露光装置において、

前記第 2 物体を囲む第 2 の空間を、前記開口板の開口を除いて実質的に密閉するチャンバを設け；

前記環境制御機構は、該チャンバ内に前記露光ビームを透過する第 2 の気体を供給する第 2 の気体供給機構を有し；

前記第 1 の気体供給装置は前記第 1 の気体を前記第 1 の空間内で

一方向に供給し；

前記第 1 の気体は、前記第 2 の気体に比べて前記露光ビームを吸収する不純物の混入率が低いことを特徴とする露光装置。

1 2 . 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光装置は、以下を含む：

前記第 1 物体又は前記第 2 物体を保持してベース部材上を移動するステージ；、

該ステージを囲む空間を実質的に密閉するチャンバ；

該チャンバ内に前記露光ビームを透過する第 3 の気体を供給する気体供給装置；

前記ステージを前記ベース部材上に第 4 の気体の噴射と該第 4 の気体の吸引とによって差動排気型で浮上させるエアーベアリング装置；

前記第 4 の気体の前記露光ビームに対する吸収率の許容度を、前記第 3 の気体よりも高く設定する設定装置。

1 3 . 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光装置は、以下を備える：

前記第 1 物体又は前記第 2 物体と共に移動するステージ；

前記投影系に対して静止している参照部材；

前記ステージ及び前記参照部材にそれぞれ計測用ビーム及び参照ビームを照射して、前記参照部材に対する前記第 1 物体又は前記第 2 物体の位置を計測する干渉計；

前記計測用ビーム及び前記参照ビームの光路に互いに前記露光ビームを吸収する不純物の混入率が同程度の気体を供給する気体供給装置。

1 4 . 第 1 物体のパターンを通過した露光ビームで投影系を介して第

2 物体を露光する露光装置は、以下を備える：

前記投影系と前記第 2 物体との間に配置されて、前記第 1 物体又は前記第 2 物体の位置を検出するための検出ビームを通過させるための開口が形成された開口板；

前記開口板と前記投影系との間の第 1 の空間に前記露光ビームを透過する第 1 の気体を供給する第 1 の気体供給機構。

15. デバイスパターンをワークピース上に転写する工程を含むデバイス製造方法であって、

請求項 1 に記載の露光方法を用いて、前記デバイスパターンを前記ワークピース上に転写する。

09690591-101800

09630591-101900

これにより、露光光として真空紫外光を使用する場合でも、光路上での透過率の低下を抑制して、高い露光強度が得られる。